



**Universidad César Vallejo**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Tecnologías biotecnológicas aplicadas al tratamiento de residuos  
sólidos urbanos en América Latina - 2023**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental**

**AUTORES:**

Palomino Gutierrez, Susana Thalia (orcid.org/0009-0005-1646-7996)

Torres Quispe, Eduardo Segundo (orcid.org/0009-0008-0932-1034)

**ASESOR:**

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (orcid.org/0000-0002-0803-1261)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2023

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser mi guía y darme las fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados mi título profesional.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, son los mejores padres.

A mis hermanos por estar siempre presentes, y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Palomino Gutiérrez, Susana Thalía

A Dios por brindarnos salud para poder seguir adelante día a día y lograr nuestros objetivos.

A nuestros padres quienes a lo largo de la vida nos han apoyado y ayudado a levantarnos, motivando nuestra formación académica, creyendo en nosotros en todo momento.

A nuestro profesor por la enseñanza obtenida durante el desarrollo del curso y a nosotras por el gran esfuerzo, aptitud, unión, perseverancia y compromiso para lograr nuestras metas.

Torres Quispe, Eduardo Segundo

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Alas Peruanas, a toda la Facultad de Ing. ambiental, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a mi asesor principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Palomino Gutiérrez, Susana Thalía

Agradecemos a Dios por brindarnos la oportunidad de poder culminar nuestros estudios en nuestra universidad.

Asimismo, agradecemos a nuestros padres, esposa, hijos, hermanos y seres queridos, de quienes siempre hemos recibido su apoyo incondicional a lo largo de nuestra vida universitaria.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro Dr. Yimi Tom Lozano Sulca, por darnos la asesoría para la realización de nuestro presente trabajo de investigación.

Torres Quispe, Eduardo Segundo

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, LOZANO SULCA YIMI TOM, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Tecnologías biotecnológicas aplicadas al tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina - 2023", cuyos autores son PALOMINO GUTIERREZ SUSANA THALIA, TORRES QUISPE EDUARDO SEGUNDO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 01 de Diciembre del 2023

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
LOZANO SULCA YIMI TOM DNI: 41134872 ORCID: 0000-0002-0803-1261	Firmado electrónicamente por: YTLOZANOS el 01- 12-2023 14:21:18

Código documento Trilce: TRI - 0676214



# DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

## **Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, PALOMINO GUTIERREZ SUSANA THALIA, TORRES QUISPE EDUARDO SEGUNDO estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Tecnologías biotecnológicas aplicadas al tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina - 2023", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
EDUARDO SEGUNDO TORRES QUISPE DNI: 45513081 ORCID: 0009-0008-0932-1034	Firmado electrónicamente por: EDTORRESQU el 01-12-2023 15:28:55
SUSANA THALIA PALOMINO GUTIERREZ DNI: 72713767 ORCID: 0009-0005-1646-7996	Firmado electrónicamente por: SUPALOMINOGU el 01-12-2023 15:27:39

Código documento Trilce: TRI - 0676227

## Índice de contenidos

CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN.	1
II. MARCO TEÓRICO.	4
III. METODOLOGÍA.	14
3.1 Tipo y Diseño de Investigación.	14
3.2 Categorías, Subcategorías y Matriz de Categorización..	15
3.3 Escenario de Estudio	15
3.4 Participantes	16
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.	16
3.6 Procedimientos.	16
3.7 Rigor Científico.	18
3.8 Método de Análisis de Datos.	18
3.9 Aspectos Éticos.	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1 CONCLUSIONES.	31
4.2 RECOMENDACIONES.	32
REFERENCIAS	33
ANEXOS	

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b>	Las emisiones de metano y biogás de los vertederos se estimaron mediante el modelo LandGEM en 2017	11
<b>Tabla 2.</b>	Tecnologías biotecnológicas más utilizadas	20
<b>Tabla 3.</b>	Eficacia y sostenibilidad de las tecnologías biotecnológicas	22
<b>Tabla 4.</b>	Limitaciones y desafíos que enfrenta la aplicación de tecnologías biotecnológicas	26

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Tasa de producción de basura por persona en diversas partes del mundo	10
<b>Figura 2.</b> Digestión anaeróbica y compostaje aeróbico	12
<b>Figura 3.</b> Métodos empleados para la elección de los documentos de investigación en el estudio	17



## Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura científica sobre el uso de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina, en el cual el tipo de investigación fue la investigación aplicada y el diseño sistemático, no empírico, analítico bibliográfico, observacional y retrospectivo.

Obteniendo en los resultados, que las tecnologías biotecnológicas utilizadas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina son la digestión anaerobia, lixiviación, biorremediación, gasificación y compostaje. Las tecnologías biotecnológicas presentan media y alta eficiencia; siendo la biorremediación aquella que presentó los más elevados porcentajes de eficiencia, seguida de la gasificación, digestión anaerobia y el compostaje. Las limitaciones y desafíos que enfrenta la aplicación de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos se encuentran en su mayoría en términos de costos y eficiencia; ya que, los inconvenientes en la mayoría se encuentran enfocados en aspectos económicos por los gastos ya sea por la aplicación de las instalaciones, compra de equipos o los procesos y ello va de la mano con la eficacia de la tecnología.

**Palabras clave:** Tecnología, biotecnología, residuos sólidos urbano, América Latina.

## **Abstract**

The objective of this work was to carry out a systematic review of the scientific literature on the use of biotechnological technologies in the treatment of urban solid waste in Latin America, in which the type of research was applied research and the design was systematic, non-empirical, analytical, bibliographic, observational and retrospective.

The results show that the biotechnological technologies used in the treatment of urban solid waste in Latin America are anaerobic digestion, leaching, bioremediation, gasification and composting. The biotechnological technologies have medium and high efficiency, with bioremediation showing the highest percentages of efficiency, followed by gasification, anaerobic digestion and composting. The limitations and challenges faced by the application of biotechnological technologies in the treatment of municipal solid waste are found in terms of cost and efficiency, since most of the drawbacks are focused on economic aspects due to the expenses incurred in the application of the facilities, purchase of equipment or processes, and this goes hand in hand with the effectiveness of the technology.

**Keywords:** Technology, biotechnologies, urban solid waste, Latin America, urban solid waste, Latin America.

## I. INTRODUCCIÓN

La inquietud respecto al manejo de los desechos urbanos se ha convertido en un tema ambiental crítico a nivel global, con un énfasis particular en la región de América Latina. La producción excesiva de desechos, la insuficiente infraestructura destinada a su gestión y disposición final, así como la presencia de sustancias peligrosas en estos materiales, representan algunos de los principales desafíos que los países de la zona están confrontando.

De acuerdo con información suministrada por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), América Latina genera más de 540 millones de toneladas de basura urbana sólida cada año, lo que constituye cerca del 9% del total global en esta categoría. Se proyecta que este volumen se incrementará al doble en los próximos veinte años si no se implementan estrategias efectivas de manejo.

En vista de este panorama, es imperativo buscar soluciones sostenibles y eficaces para el tratamiento de los desechos urbanos sólidos en América Latina. En este sentido, las tecnologías biotecnológicas pueden representar una alternativa prometedora para el tratamiento y valorización de estos residuos. De acuerdo a lo señalado por Delgado (2018), las tecnologías biotecnológicas se refieren a la utilización de procesos biológicos para procesar residuos, lo que conlleva a su conversión en productos beneficiosos, tales como biocombustibles o fertilizantes orgánicos, entre otros. Estas técnicas han probado su eficacia tanto en la reducción del volumen de desechos sólidos urbanos como en la disminución de la contaminación, al tiempo que producen bienes de mayor valor agregado.

No obstante, la aplicación de tecnologías biotecnológicas en el manejo de desechos sólidos urbanos también puede acarrear ciertos impactos adversos. Por ejemplo, la producción de biogás en los procesos de digestión anaerobia puede liberar metano, un gas de efecto invernadero muy potente.

Además, la generación de residuos peligrosos y la posible liberación de microorganismos modificados genéticamente en el medio ambiente son cuestiones que deben ser consideradas cuidadosamente (Castillo et al., 2017).

Según lo expuesto por Sánchez y colaboradores en 2019, las técnicas biotecnológicas ofrecen múltiples beneficios en comparación con los métodos convencionales usados en la gestión de desechos sólidos urbanos. Estos beneficios incluyen la recuperación de recursos y energía valiosos, la reducción de residuos destinados a vertederos, la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, y la mejora en la calidad del suelo y agua.

En este marco, la finalidad esencial de esta tesis es examinar la viabilidad y eficiencia de aplicar tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos urbanos sólidos en América Latina. Se espera que los hallazgos de este estudio aporten a la creación de políticas y estrategias públicas más sostenibles y efectivas para la gestión de desechos urbanos en la región.

Por lo cual para determinar que tratamiento es el más efectivo se plantea el siguiente problema general:

¿Cuál es el estado actual de la investigación sobre las tecnologías biotecnológicas aplicadas al tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina?

Preguntas específicas:

¿Cuáles son los tipos de tecnologías biotecnológicas que se han utilizado para el tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina?

¿Qué resultados se han obtenido en términos de eficacia de estas tecnologías en la región?

¿Cuáles son las limitaciones y desafíos que enfrenta la aplicación de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos?

Objetivo general:

Realizar una revisión sistemática de la literatura científica sobre el uso de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina, con el fin de identificar los avances, limitaciones y desafíos en la aplicación de estas tecnologías en la región.

Objetivos específicos:

Identificar las tecnologías biotecnológicas utilizadas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina.

Evaluar los resultados obtenidos por estas tecnologías en términos de eficacia en la región.

Identificar las limitaciones y desafíos que enfrenta la aplicación de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos.

El estudio propuesto podría ampliar significativamente nuestra comprensión sobre el uso de tecnologías biotecnológicas en la gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina. Desde un enfoque teórico, este podría promover la implementación de dichas tecnologías en distintos entornos y optimizar las prácticas actuales.

Ante el acelerado aumento poblacional y el incremento en la producción de desechos, el manejo de residuos urbanos se ha tornado en un desafío crítico en América Latina. La incorporación de biotecnología en este campo podría ofrecer una respuesta efectiva y sostenible, posibilitando un manejo adecuado de los residuos y la recuperación de recursos materiales y energéticos de gran valor.

## II. MARCO TEÓRICO

La administración de desechos sólidos urbanos en América Latina es un reto que implica aspectos ambientales, económicos y sociales. En este ámbito, se han realizado varias investigaciones enfocadas en explorar el uso de tecnologías biotecnológicas, con la finalidad de optimizar el procesamiento y manejo de estos residuos. A continuación, se destacan dos investigaciones internacionales relevantes:

En la investigación de García y su equipo en 2018, se enfatizó la relevancia de la biotecnología como una opción eficaz para el tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina. Este estudio se basó en un análisis detallado de literatura científica acerca de los avances y futuras aplicaciones de la biotecnología en la gestión de estos desechos. Los hallazgos resaltaron el potencial de la biotecnología como una herramienta valiosa y prometedora para el tratamiento de residuos en la región, facilitando la recuperación de materiales útiles y la generación de biocombustibles y fertilizantes. Las conclusiones del estudio enfatizaron la importancia de continuar investigando y desarrollando tecnologías biotecnológicas para una gestión sostenible de residuos sólidos urbanos en América Latina.

Adicionalmente, el estudio de Pérez y su equipo en 2017 examinó el uso de biorreactores de membranas para el tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos. La metodología empleada en este estudio incluyó la construcción de un biorreactor de membrana piloto y la evaluación de su eficiencia en términos de remoción de materia orgánica y nutrientes. Los hallazgos del estudio indican que los biorreactores de membrana representan una opción viable y eficiente para el tratamiento de lixiviados procedentes de vertederos de residuos sólidos urbanos. Estos sistemas facilitan la eliminación de contaminantes y permiten recuperar agua y nutrientes. Las conclusiones de la investigación resaltan la necesidad de continuar con la investigación y el desarrollo en el campo de las tecnologías

biotecnológicas, enfocándose en lograr un tratamiento sostenible de los lixiviados de vertederos de residuos urbanos sólidos.

En el estudio de Torres y colaboradores en 2016, el objetivo central fue realizar una revisión completa del estado actual y las futuras direcciones del tratamiento biológico de residuos sólidos urbanos en América Latina. La metodología consistió en un análisis bibliográfico de los progresos y limitaciones de las tecnologías biológicas aplicadas al tratamiento de estos residuos. Los resultados indicaron que la biotecnología es una opción prometedora y sostenible en América Latina para el tratamiento de residuos sólidos urbanos, permitiendo recuperar materiales útiles y producir biocombustibles y fertilizantes. Las conclusiones enfatizaron la necesidad de continuar con la investigación y desarrollo de tecnologías biotecnológicas para una gestión sostenible de residuos sólidos urbanos en la región.

Por otro lado, el estudio de Martínez y sus colegas en 2020 se centró en evaluar el potencial energético de los residuos sólidos urbanos en América Latina. Esta investigación incluyó una revisión bibliográfica sobre la generación y composición de estos residuos en varios países de la región, seguida de un análisis de su potencial energético, considerando su valor calorífico y la aplicación de distintas tecnologías de conversión energética. Los resultados demostraron que los residuos sólidos urbanos en América Latina poseen un gran potencial energético. Su aprovechamiento mediante tecnologías como la incineración, gasificación y producción de biogás podría ser una alternativa sostenible y económicamente viable para la generación de energía en la región. Las conclusiones enfatizaron la necesidad de promover políticas y estrategias destinadas a gestionar de manera sostenible los residuos sólidos urbanos, maximizando así su potencial energético y reduciendo su impacto ambiental.

En relación con la investigación de Cesaro y su equipo en 2019, su principal objetivo fue evaluar la madurez biológica y la estabilidad de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos durante el proceso de compostaje

a nivel industrial. En la metodología, una planta de compostaje que opera en el sur de Italia, se recogieron muestras representativas a lo largo del tiempo y se analizaron por su fitotoxicidad, contenido en sustancias húmicas e índice respirométrico dinámico. Los resultados demostraron la importancia vital de los criterios de estabilidad y madurez en el seguimiento de los procesos de compostaje. Los resultados de los experimentos también abordaron cuestiones más generales sobre el funcionamiento de un proceso sostenible de producción de compost.

En el artículo de Rodríguez y colaboradores en 2019, se centraron en examinar los retos y posibilidades relacionados con la gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina. Utilizaron una metodología de revisión bibliográfica detallada para analizar los avances y obstáculos en la gestión de estos desechos en distintos países de la región. Posteriormente, evaluaron las oportunidades para mejorar la gestión de residuos sólidos urbanos mediante la implementación de políticas y estrategias sostenibles. Los resultados indicaron que la gestión en América Latina enfrenta desafíos como la falta de infraestructura y tecnología adecuadas, políticas y estrategias ineficientes, y una limitada participación ciudadana. Sin embargo, también se identificaron oportunidades de mejora, incluyendo la promoción de la economía circular, sistemas de separación y reciclaje, y el uso de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos. El estudio concluyó enfatizando la importancia de fomentar una gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos en la región, aprovechando su potencial como recurso y minimizando su impacto ambiental.

En cuanto al trabajo de Cossio y sus colegas en 2018, el objetivo fue evaluar la huella de carbono asociada a la gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina. La metodología incluyó la revisión de datos sobre la generación de residuos y su composición en varios países de la región, seguida de un análisis de la huella de carbono generada en etapas como recolección, transporte, tratamiento y disposición final. Los hallazgos mostraron que la gestión de estos residuos contribuye significativamente a



la huella de carbono debido a las emisiones de gases de efecto invernadero en todas sus etapas. Se identificaron oportunidades para reducir esta huella, como la implementación de estrategias de gestión sostenible, promoción del reciclaje y reducción de la cantidad de residuos generados. Las conclusiones enfatizaron la necesidad de adoptar enfoques sostenibles en la gestión de residuos sólidos urbanos para disminuir su impacto ambiental y contribuir a la mitigación del cambio climático.

Por último, en el estudio de Gómez y colaboradores en 2021, se realizó un experimento para evaluar el impacto de añadir residuos de madera en la producción de biogás a partir de residuos sólidos urbanos. La metodología incluyó la selección y caracterización de los residuos, preparación de mezclas y pruebas de digestión anaerobia para medir la producción de biogás. Los ensayos con diferentes proporciones de residuos de madera y residuos sólidos urbanos mostraron que la adición de madera incrementó notablemente la producción de biogás, siendo la proporción óptima de 30% de residuos de madera. Las conclusiones destacaron que la incorporación de residuos de madera es una estrategia efectiva para mejorar la producción de biogás a partir de residuos sólidos urbanos.

Tras revisar los estudios internacionales más significativos, es importante señalar que hay diversas teorías y conceptos asociados con el uso de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina. Estos enfoques teóricos y conceptuales aportan un marco para comprender y desarrollar mejor estas tecnologías en el contexto específico de la región. Entre ellas, podemos mencionar:

**Economía circular:** La teoría de la "economía circular" es un enfoque clave en este contexto, centrado en aumentar la eficiencia en el uso de los recursos y minimizar la producción de residuos. Esta perspectiva promueve prácticas como la reutilización, el reciclaje y la valorización de los residuos, en contraposición a su eliminación en vertederos o su incineración, con el objetivo de crear un ciclo sostenible de producción y consumo.

**Biorremediación:** La biorremediación es una técnica que utiliza microorganismos para degradar contaminantes en el medio ambiente. En el manejo de residuos sólidos urbanos, la biorremediación es una técnica eficaz para descomponer la materia orgánica y reducir el volumen de desechos. Este proceso utiliza microorganismos y plantas para descomponer o transformar sustancias peligrosas en productos menos tóxicos o inofensivos.

**Biodegradabilidad:** La biodegradabilidad se refiere a la capacidad de los materiales para descomponerse de forma natural a través de procesos biológicos. Los residuos sólidos urbanos biodegradables pueden ser tratados mediante tecnologías biotecnológicas como el compostaje o la digestión anaerobia. Estos procesos permiten transformar la materia orgánica en productos útiles como compost o biogás, optimizando así la gestión de los residuos y reduciendo su impacto ambiental.

**Digestión anaerobia:** La digestión anaerobia es un proceso biotecnológico que se basa en la utilización de microorganismos para descomponer materia orgánica en un ambiente sin oxígeno. Este método transforma los residuos orgánicos en biogás y digestato, siendo una forma eficiente de tratar residuos y generar energía renovable. Este proceso genera biogás como subproducto, el cual puede ser aprovechado como una fuente de energía renovable.

**Compostaje:** El compostaje es un proceso biotecnológico que utiliza microorganismos para descomponer materia orgánica en un ambiente aeróbico. El producto final es un abono orgánico que puede ser utilizado como fertilizante.

**Valorización de residuos:** La valorización de residuos se refiere al proceso de recuperación de materiales y energía a partir de los desechos. Las tecnologías biotecnológicas desempeñan un papel crucial en la valorización de residuos, facilitando la producción de biogás, el compostaje y la

recuperación de materiales reciclables. Estos procesos convierten los desechos en recursos valiosos, contribuyendo a una gestión de residuos más sostenible y eficiente.

**Gestión integral de residuos sólidos:** La gestión integral de residuos sólidos es una estrategia que apunta a mejorar el manejo de los desechos desde su origen hasta su disposición final, integrando aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales. La inclusión de tecnologías biotecnológicas en este enfoque puede contribuir significativamente a una gestión de residuos sólidos más sostenible y eficiente, optimizando los recursos y minimizando el impacto ambiental. (Pérez, J., Muñoz, R., & León, R. 2016).

Los principios y enfoques mencionados son fundamentales para entender la relevancia de las tecnologías biotecnológicas en la gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina. Estos conceptos destacan cómo la biotecnología puede ser una herramienta clave para abordar los desafíos de la gestión de residuos de manera eficiente y sostenible en la región. Sin embargo, es importante contextualizar estos conceptos dentro de la problemática actual que enfrenta la región.

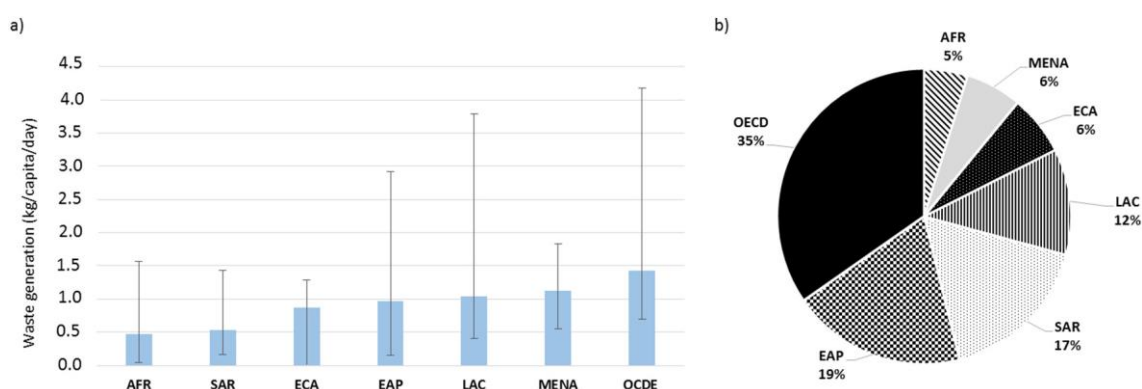
La gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina es un desafío significativo debido al rápido crecimiento poblacional y al incremento en el consumo per cápita en la región, como señalan Martínez et al. (2020) y Rodríguez et al. (2019). La producción masiva de desechos y su manejo inapropiado pueden resultar en serios impactos negativos tanto para la salud pública como para el medio ambiente. (Ragaert et al., 2017).

La gestión de residuos municipales en América Latina y el Caribe (AL&C) enfrenta complejidades notables, especialmente en países con infraestructuras socioeconómicas frágiles y zonas metropolitanas en desarrollo, según el Banco Mundial (2017). En AL&C, 24 países incluyendo Belice, Honduras, Bolivia, Haití, El Salvador, Nicaragua, Argentina, Brasil,

Panamá, Jamaica, Guatemala, Paraguay, Colombia, Guyana, Perú, Cuba, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, República Dominicana, Costa Rica, Surinam, México, Dominica y Ecuador, son clasificados como de ingresos bajos a medios-altos (Margallo et al., 2019).

Esta situación socioeconómica y demográfica subraya la importancia de implementar tecnologías biotecnológicas eficientes y sostenibles en la gestión de residuos sólidos urbanos en la región. Estas tecnologías son fundamentales para enfrentar los desafíos actuales y futuros en el manejo de desechos en América Latina y el Caribe.

**Figura 1. Tasa de producción de basura por persona en diversas partes del mundo**



AFR: Sub-Saharan Africa Region; EAP: East Asia and Pacific region; ECA: Europe and Central Asia region; LAC: Latin America and the Caribbean region; MENA: Middle East and North Africa region; OECD: Organization for Economic Co-operation and Development; SAR: South Asia Region

Fuente: Margallo et al., (2019)

La figura 1 muestra en el grupo a) la Producción de residuos por persona y día, por región, según los límites inferior y superior; en el grupo b) el porcentaje de cada región en la producción mundial de basura.

Los efectos de una gestión ineficaz causan daños irreversibles al medio ambiente, incluida la emisión incontrolada de gases como el metano (CH<sub>4</sub>), que, aunque es una causa importante del calentamiento global, tiene un enorme potencial para la producción de energía (Costa y Dias, 2020).

Además, las bacterias anaerobias descomponen la materia orgánica de los residuos mediante procesos extremadamente intrincados, creando biogás, compuesto en su mayor parte por CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, un potente gas de efecto invernadero (María et al., 2020).

**Tabla 1. Las emisiones de metano y biogás de los vertederos se estimaron mediante el modelo LandGEM en 2017**

	<b>Biogás</b> [m <sup>3</sup> año <sup>-1</sup> ]	<b>Metano</b> [m <sup>3</sup> año <sup>-1</sup> ]	<b>Dióxido de carbono</b> [m <sup>3</sup> año <sup>-1</sup> ]
<b>TerrenoGEM</b>	207.477.036	116.166.393	91.310.643
<b>Contenido de gas mediante medición in situ [%]</b>	100	55,99	44.01

Fuente: modificado de María et al., (2020)

En la tabla 1 se muestra las estimaciones del modelo LandGEM sobre la producción anual de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. En 2017.

La gestión ineficiente de los residuos sólidos urbanos en América Latina repercute negativamente en los sistemas naturales, la salud humana, y las actividades sociales y económicas. Esta problemática conlleva la contaminación del agua y del suelo, así como la emisión de gases de efecto invernadero, generando un impacto adverso en estos ámbitos cruciales (Bijos et al., 2022).

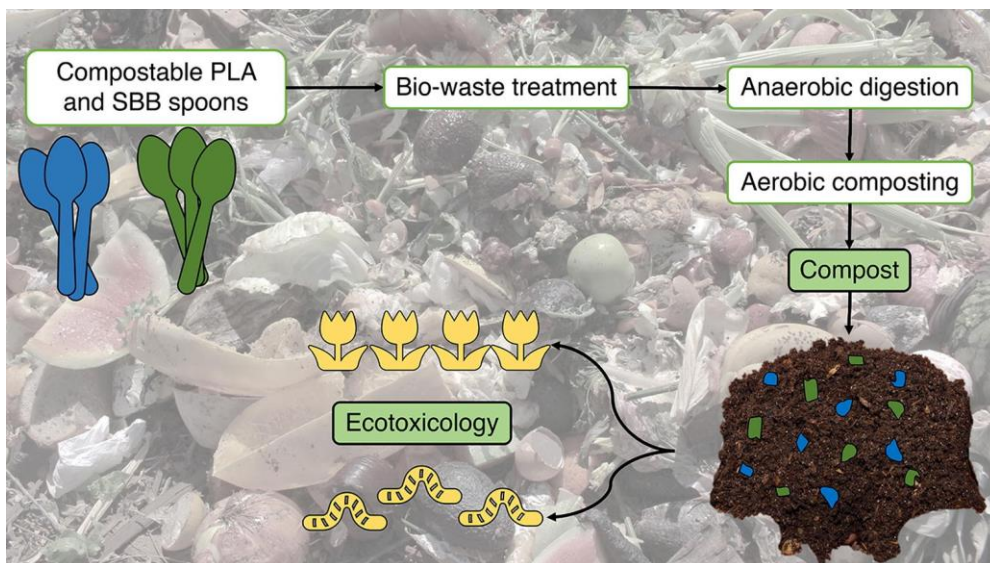
Se calcula que 145.000 toneladas de RSU siguen quemándose, depositándose en vertederos o destinándose a otros usos inadecuados cada día (Savino et al., 2018).

Para enfrentar estos desafíos, se han desarrollado varias tecnologías enfocadas en la gestión de residuos sólidos urbanos. Entre estas soluciones, las tecnologías biotecnológicas se destacan como opciones prometedoras, brindando métodos eficientes y sostenibles para el tratamiento y aprovechamiento de estos desechos. (Martínez et al., 2020). Las tecnologías

biotecnológicas se basan en principios de biología, microbiología y química para abordar el tratamiento de los residuos y tienen la capacidad de ser utilizadas en la generación de energía, la recuperación de recursos y la reducción del impacto ambiental asociado a los residuos sólidos urbanos (Ghosh, et al., 2017).

Entre las tecnologías biotecnológicas utilizadas en el tratamiento de los RSU en América Latina se encuentran la digestión anaerobia, el compostaje y la biodegradación aerobia (Martínez, et al., 2020).

**Figura 2. Digestión anaeróbica y compostaje aeróbico**



Fuente: Bandini et al., (2022)

La digestión anaerobia es una tecnología biotecnológica que emplea microorganismos para descomponer materia orgánica en un ambiente anóxico. Este proceso genera biogás como subproducto, que puede ser aprovechado como una fuente de energía renovable, contribuyendo así a la sostenibilidad en la gestión de residuos. (Kumar et al., 2017).

Por otro lado, el compostaje es una tecnología que facilita la descomposición aerobia de la materia orgánica, dando como resultado compost, que puede utilizarse como un fertilizante (Rodríguez et al., 2019).

Finalmente, la biodegradación aerobia es una tecnología que emplea microorganismos en conjunto con oxígeno para degradar la materia orgánica, generando dióxido de carbono y agua como productos finales (Ghosh, et al., 2017).

La tecnología de digestión anaerobia aplicada en Brasil fue altamente eficiente presentando una opción viable para la generación de biogás y la reducción de residuos (Santos et al., 2018). En Argentina, la implementación de tecnologías enfocadas en la separación y clasificación de residuos ha demostrado ser fundamental para la recuperación de materiales valiosos. Este enfoque mejora la eficiencia del reciclaje y contribuye a una gestión de residuos más sostenible (González-Gutiérrez et al., 2017).

En México, se ha notado que en el contexto de las tecnologías biotecnológicas, la utilización de lodos activados y bioceldas de combustible microbianas puede generar un impacto beneficioso al mejorar la calidad del agua y producir energía a partir de residuos orgánicos, particularmente en las zonas rurales del país (López et al., 2019).

La implementación de tecnologías biotecnológicas en la gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina trae consigo tanto ventajas como desafíos. Entre los beneficios se cuentan la reducción del impacto ambiental de los residuos, la generación de energía y la recuperación de recursos valiosos. Estas tecnologías pueden ayudar a transformar los desechos en fuentes de energía renovable y en materiales reutilizables, contribuyendo así a una gestión más sostenible y eficiente (Rodríguez, et al., 2019).

Sin embargo, también existen desventajas, como la necesidad de un adecuado manejo y control de los procesos biológicos y químicos, y la inversión inicial requerida para la implementación de estas tecnologías (Martínez, et al., 2020).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

La investigación aplicada se enfoca en estudiar temas o fenómenos específicos, lo cual facilita el análisis de eventos y situaciones que ocurren en nuestra vida diaria. Este tipo de investigación busca resolver problemas prácticos y encontrar soluciones directas y efectivas aplicables en contextos reales. Este tipo de investigación permite la generación de nuevos conocimientos al tiempo que erradica las incertidumbres sociales con la ayuda de aplicación a los problemas (CORDERO, 2009, p. 155). Por lo tanto, los retos identificados en la investigación actual se abordaron utilizando el conocimiento obtenido de la comparación entre métodos de tratamiento biológicos y químicos. Este enfoque se empleó específicamente para reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en los efluentes resultantes del proceso de extracción de aceite de palma. La selección del tratamiento más efectivo para disminuir la DBO es crucial para minimizar el impacto ambiental de estos efluentes.

##### **3.1.2. Diseño de Investigación**

Una revisión sistemática representa un diseño no empírico, analítico, bibliográfico, observacional y retrospectivo (Beltrán, 2005; Sánchez et al., 2018), y su protocolo de trabajo es específico y estructurado, se inicia con la formulación de una pregunta formalizada. Se ha identificado que los términos se utilizarán para encontrar artículos que ayuden a responder las preguntas anteriores.

Se realizará una exploración en la base de datos de artículos originales, y se escogerán aquellos que sean relevantes para llevar a cabo un análisis



estadístico. Posteriormente, se utilizarán los datos obtenidos de este análisis para obtener los resultados del estudio (Moreno, et. al., 2018).

Dividimos el diseño narrativo de Mertens en cuatro categorías y el diseño narrativo temático utilizado para el presente trabajo. Afirma centrarse en un tema particular en un tema particular en el diseño narrativo tópico).

En consecuencia, se llevará a cabo un análisis exhaustivo con el fin de identificar las diversas tecnologías biotecnológicas que se están utilizando en el tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina. Este estudio detallado permitirá comprender mejor las técnicas aplicadas en la región y evaluar su eficacia y sostenibilidad en el contexto de la gestión de residuos.

### **3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización**

Las categorías y subcategorías relacionadas con los objetivos y desafíos específicos de la investigación se han definido y detallado en el Anexo 1. Este anexo proporciona una clasificación clara y organizada, facilitando la comprensión y el análisis de los aspectos relevantes del estudio.

### **3.3. Escenario de estudio**

El alcance de la investigación abarca una gama de ubicaciones donde se realizaron estudios experimentales y se recopilaron muestras. Estos lugares están específicamente detallados en los artículos científicos relacionados, proporcionando un contexto geográfico y operativo para los experimentos y los datos obtenidos. Esto se debe a que se llevará a cabo una investigación sistemática.

### **3.4. Participantes**

Los participantes clave en esta investigación son las fuentes de documentos bibliográficos, específicamente bibliotecas electrónicas con amplias bases de datos de artículos científicos y citas de revistas a nivel global. Las principales fuentes utilizadas en este estudio incluyen Scielo, Scopus, Sciencedirect y Pubmed, que son recursos esenciales para acceder a información científica relevante y actualizada.

### **3.5. Técnica e instrumento de recolección de datos**

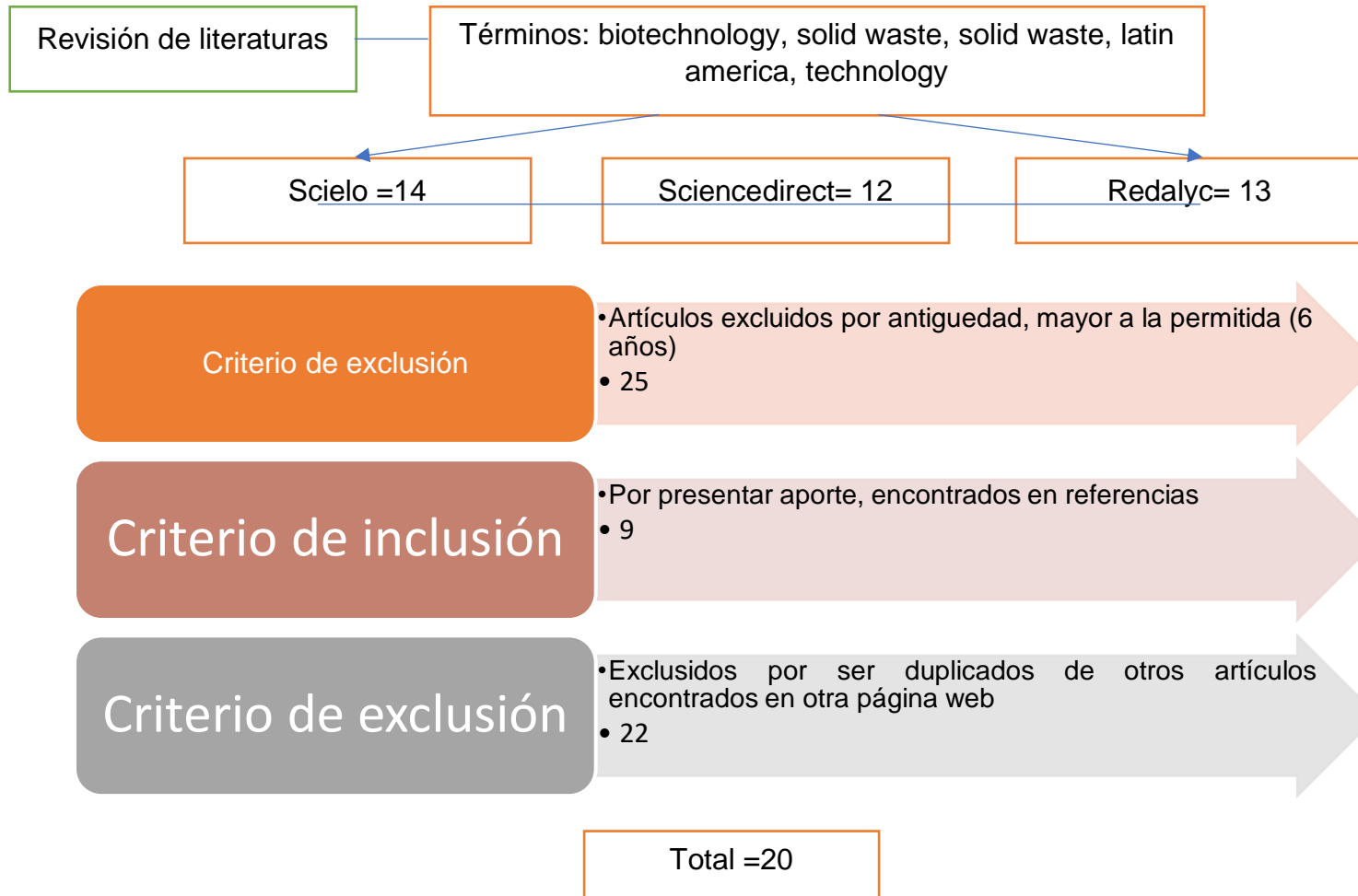
La técnica utilizada en este estudio es el análisis de documentos, un método que permite el registro sistemático de la información investigativa. Este enfoque facilita tanto la recuperación como la consulta posterior de los datos, asegurando una gestión eficiente y organizada del conocimiento adquirido. Este proceso prepara el terreno para la etapa siguiente, que implica el análisis de la información (Hernández et al., 2014, p. 415).

Para realizar el análisis propuesto, se recomienda el uso de una ficha de análisis de contenido como herramienta de recopilación de datos. Esta ficha es un documento estructurado diseñado para registrar de manera eficiente el contenido de los documentos originales. Su propósito es facilitar una revisión selectiva y detallada de la base bibliográfica, asegurando que la información recopilada esté alineada con los objetivos específicos de la investigación.

### **3.6. Procedimiento**

Los artículos científicos elegidos para el estudio fueron seleccionados siguiendo el proceso indicado en la figura N° 3.

**Figura 3. Métodos empleados para la elección de los documentos de investigación en el estudio.**



### **3.7. Rigor científico**

Los principios científicos aplicados en la presente investigación abarcaron los siguientes aspectos: Credibilidad, Confirmabilidad, Transferibilidad y Coherencia.

La credibilidad se refiere a la capacidad del investigador para obtener la información directamente del autor original, asegurando así la habilidad de transmitir la perspectiva del participante.

La confirmabilidad engloba la objetividad en la utilización de la información de los estudios, permitiendo a otros investigadores examinarla y tener la certeza de su autenticidad.

La transferibilidad en investigación se define como la capacidad de aplicar los hallazgos obtenidos en un estudio a otros contextos o entornos distintos al original. Esta característica es esencial para determinar si los resultados de una investigación pueden ser generalizables o útiles en situaciones diferentes a las específicamente estudiadas. En términos cualitativos, la transferibilidad desempeña un papel significativo en la capacidad de generalización de los hallazgos.

La consistencia se centra en la veracidad de la información, buscando garantizar que los datos sean presentados de manera precisa. Aunque este objetivo puede ser desafiante, dado que los datos se extraen de otros estudios (Cadenas, 2016).

### **3.8. Método de análisis de información**

El proceso de análisis de información en este estudio se alinea con los objetivos específicos establecidos y se lleva a cabo mediante el enfoque de la triangulación. Este enfoque permite el uso de la técnica de la matriz apriorística, la cual se estructura en categorías y subcategorías. La

triangulación, al combinar múltiples perspectivas y fuentes de datos, fortalece la validez de los resultados al proporcionar una comprensión más completa y matizada del tema investigado.

### **3.9. Aspectos éticos**

El presente estudio se adhiere a los principios éticos siguientes:

1. Respeto a la autoría: Se llevarán a cabo las citas adecuadas y se proporcionará la información completa de los autores en las referencias bibliográficas, asegurando así que la información presentada sea precisa y veraz.
2. Cumplimiento de la Guía de Productos Observables: En la realización de este trabajo, se ha seguido rigurosamente las directrices establecidas en la guía de productos observables de la Universidad Cesar Vallejo. Este enfoque garantiza que la investigación cumpla con los estándares y requisitos específicos definidos por la institución.
3. Verificación de autenticidad: El documento será sometido a un análisis con el programa Turnitin, que garantizará la originalidad del trabajo y eliminará cualquier indicio de plagio.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

OE1: Identificar las tecnologías biotecnológicas utilizadas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina

A nivel global, se han llevado a cabo investigaciones detalladas para desarrollar sistemas integrales de gestión de residuos sólidos urbanos que abarquen su tratamiento. Sin embargo, un objetivo clave de este estudio es identificar las tecnologías biotecnológicas más utilizadas en América Latina, como se especifica en la Tabla 2. Este enfoque regional permite un análisis más profundo de las soluciones adaptadas a las particularidades y necesidades específicas de esta área geográfica.

**Tabla 2. Tecnologías biotecnológicas más utilizadas**

Fuente	Tipo de biotecnología	País
Silva-Martínez et al., (2023)	Digestión anaerobia	Brasil
Dos Santos et al., (2022)	Lixiviación	Brasil
Lima et al., (2018)	Biorremediación	Brasil
Ávila-Hernández et al., (2018)	Digestión anaerobia	Costa rica
Villegas y Laines, (2017)	Compostaje	México
Martínez et al., (2022)	Biorremediación	Brasil
Viegas et al., (2021)	Biorremediación	Brasil
Hernández et al., (2019)	Biorremediación	Brasil
Maya et al., (2016)	Gasificación	Brasil
Soares y Martins, (2017)	Digestión anaerobia	Brasil
Galvao et al., (2023)	Digestión anaerobia	Brasil
Pin et al., (2018)	Compostaje	Brasil
Coejho et al., (2018)	Biorremediación	Brasil
Lino et al., (2018)	Compostaje	Brasil
Jara-Samaniego et al., (2017)	Compostaje	Ecuador

Según la Tabla 2, en América Latina se emplean diversas tecnologías biotecnológicas para el tratamiento de residuos sólidos urbanos. Entre estas,

las más destacadas son la digestión anaerobia, la lixiviación, la biorremediación, la gasificación y el compostaje. Estas tecnologías representan métodos avanzados y sostenibles para la gestión de residuos.

Es relevante mencionar que Brasil es líder en la región en la aplicación de estas tecnologías para el tratamiento de residuos sólidos urbanos. En particular, la situación de los residuos sólidos municipales (RSU) en Río de Janeiro muestra un desempeño ambiental deficiente, según Coejho et al. (2018). Esto subraya la urgente necesidad de adoptar nuevas estrategias que permitan avanzar hacia un sistema de gestión de RSU más respetuoso con el medio ambiente y sostenible.

Ello debido a que, en algunos países, el procesamiento de materia orgánica para uso energético ha aumentado en los últimos años y la optimización de los procesos de DA permitirá generar electricidad, reducir los vertederos y promover una economía circular (Llano et al., 2021).

Según Maya et al. (2016), la gasificación es una tecnología que no solo cumple con los requisitos legales en términos de emisiones, sino que también ofrece una solución técnica viable para la conversión termoquímica de residuos sólidos urbanos y la generación de energía. Esto la convierte en una opción atractiva en términos de sostenibilidad y eficiencia energética.

Por otro lado, Pin et al. (2018) destacan que las estrategias con menores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) combinan reciclaje y compostaje. Esta combinación resulta en un manejo más eficiente y ambientalmente amigable de los residuos.

Además, Jara-Samaniego et al. (2017) señalan que el compostaje es un método efectivo y práctico para la gestión de residuos urbanos en regiones como Chimborazo, Ecuador. Este proceso permite la transformación de residuos orgánicos en productos útiles, como abono para la tierra, reduciendo la necesidad de vertederos.

OE2: Evaluar los resultados obtenidos por estas tecnologías en términos de eficacia y sostenibilidad en la región

**Tabla 3: Eficacia y sostenibilidad de las tecnologías biotecnológicas**

Fuente	Tipo de biotecnología	Resultados obtenidos
Silva-Martínez et al., (2023)	Digestión anaerobia	Los resultados indican que el sistema HSAD: (1) Utiliza menos agua (para WAD 83,5 l/t OFMSW, para HSAD no se agrega agua adicional); (2) produce casi 2,5 veces más biofertilizante, con aproximadamente 233 kg/t de OFMSW frente a los 100 kg/t de OFMSW de la planta WAD; (3) tiene una eficiencia energética significativamente mayor, con un ratio energético (ER) del 26,4 %, mientras que para WAD el ER es del 68 %; y, (4) presenta un importante potencial de mitigación de GEI, alcanzando un ahorro anual de 3.892.587,56 kg CO <sub>2</sub> eq.
Dos Santos et al., (2022)	Lixiviación	La composición del líquido lixiviado puede influir en la configuración de la comunidad de microorganismos, convirtiéndolo en un instrumento delicado para la evaluación del sistema de manejo de desechos urbanos sólidos.
Lima et al., (2018)	Biorremediación	Este enfoque resultó en disminuciones en la mayoría de las categorías de impacto en el medio ambiente.
Ávila-Hernández et al., (2018)	Digestión anaerobia	El procesamiento en el lugar de residuos biodegradables a través de la digestión anaerobia tiene la capacidad de prolongar la duración de los vertederos, mitigar la



Fuente	Tipo de biotecnología	Resultados obtenidos
		contaminación causada por los lixiviados que se filtran en los acuíferos subterráneos y cuerpos de agua receptores, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y utilizar el biogás producido como una fuente de energía sostenible.
Villegas y Laines, (2017)	Compostaje	El vermicompostaje es un proceso que permite la conversión de una amplia variedad de recursos orgánicos derivados de actividades humanas, tanto convencionales como no convencionales. Estos recursos provienen de sectores como la agricultura y la agroindustria, entre otros. Las lombrices tienen un papel efectivo en la descomposición de ambos tipos de desechos, dando como resultado un producto final con un alto valor nutritivo que puede ser aplicado para enriquecer la calidad del suelo o como fertilizante en la agricultura de plantas.
Martínez et al., (2022)	Biorremediación	La biorremediación de lixiviados ricos en contaminantes del agua asistida por microalgas es de sumo interés.
Viegas et al., (2021)	Biorremediación	El pretratamiento redujo el 74% de la DQO y el 99% del color. La biorremediación mostró reducciones del 62%, 71% y 100% para DQO, N y P, respectivamente.
Hernández et al., (2019)	Biorremediación	La eliminación de amoníaco del 80% mediante lixiviados de aguas residuales se logró mediante microalgas.

Fuente	Tipo de biotecnología	Resultados obtenidos
		La biomasa, lípidos y carbohidratos finales obtenidos fue de 1,95 g/L, 20% y 41%.
Maya et al., (2016)	Gasificación	Se logra una significativa reducción en la cantidad de residuos, alrededor del 70-80%, así como en el volumen, que disminuye aproximadamente en un 80-90%, con una eficiencia del 80%.
Soares y Martins, (2017)	Digestión anaerobia	Es la opción más atractiva en términos de minimizar los impactos ambientales, presentando una eficacia mayor al 80%
Galvao et al., (2023)	Digestión anaerobia	Reducción aproximado del 50% de los residuos eliminados en vertederos
Pin et al., (2018)	Compostaje	El escenario con menores emisiones de GEI fue el reciclaje asociado al compostaje, presentando una eficiencia de hasta un 90% .
Coejho et al., (2018)	Biorremediación	La inversión en recolección separada en origen y recuperación de materiales es la estrategia de RSU más amigable con el medio ambiente para Río de Janeiro, además presenta una eficiencia mayor al 50%.
Lino et al., (2018)	Compostaje	El reciclaje puede ahorrar electricidad equivalente al 46% de los hogares de Campinas. La ganancia financiera de los reciclables equivale a 1120 Salario Mínimo Nacional y su eficiencia es mayor al 70%.
Jara-Samaniego et al., (2017)	Compostaje	Presenta una eficiencia económica del 23% en reducción de coste

De acuerdo a la tabla 3, las tecnologías biotecnológicas presentan media y alta eficiencia; siendo la biorremediación aquella que presentó los más elevados porcentajes de eficiencia, seguida de la gasificación, digestión anaerobia y el compostaje.

Siendo ello respaldado por Viegas et al., (2021), donde la biorremediación mostró reducciones del 62%, 71% y 100% para DQO, N y P, respectivamente. siendo así mismo respaldado por Maya et al., (2016), Soares y Martins, (2017) y Pin et al., (2018).

Estos descubrimientos encuentran respaldo en la investigación de Cossio y colaboradores (2018), que indica que la gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina contribuye significativamente a la huella de carbono debido a las emisiones de gases de efecto invernadero en sus distintas etapas.

Asimismo, el estudio realizado por Torres y su equipo (2016) respalda la idea de que la biotecnología representa una alternativa prometedora y sostenible para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos en la región, permitiendo la recuperación de materiales valiosos y la producción de biocombustibles y fertilizantes.

Por otro lado, los hallazgos de Gómez y colaboradores (2021) subrayan la eficacia de la gasificación como tecnología, ya que sus pruebas demostraron que la adición de residuos de madera aumentó significativamente la producción de biogás a partir de residuos sólidos urbanos.

Estos resultados coinciden con la investigación de Martínez y su equipo (2020), que sostiene que los residuos sólidos urbanos en América Latina poseen un elevado potencial energético, y que su aprovechamiento a través de tecnologías de conversión de energía como la incineración, la gasificación y la producción de biogás puede ser una alternativa económica y sostenible para la generación de energía en la región.

OE3: Identificar las limitaciones y desafíos que enfrenta la aplicación de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos.

Es crucial destacar que la elección de la estrategia de gestión de residuos está influenciada por una variedad de factores, que abarcan aspectos económicos, ambientales y sociales, así como desafíos técnicos en la gestión de los residuos. La tabla 4 detalla las limitaciones y desafíos asociados con la aplicación de tecnologías biotecnológicas como la Biorremediación, Compostaje, Digestión anaerobia, Gasificación, Pirolisis, Lixiviación, Oxidación química, Estabilización química y Tratamiento combinado en el tratamiento de residuos sólidos urbanos. Abordar de manera efectiva estas limitaciones y desafíos es fundamental para lograr una gestión sostenible de los residuos en América Latina.

**Tabla 4. Limitaciones y desafíos que enfrenta la aplicación de tecnologías biotecnológicas**

Tipos de tecnologías biotecnológicas	Ventajas	Limitaciones	Fuentes
pirólisis	<p>Reducción del volumen de RSU hasta entre un 50% y un 90%.</p> <p>Reducción del tratamiento de gases de combustión.</p> <p>El costo de capital de la pirólisis es menor en comparación con la incineración</p> <p>Proceso autosostenible una vez iniciado</p> <p>Se puede obtener energía, productos</p>	<p>Se producen residuos tóxicos como cenizas minerales inertes y compuestos inorgánicos.</p> <p>Elevados gastos en la operación y el mantenimiento.</p> <p>Problemas de corrosión en los conductos durante el</p>	<p>Nizami et al., (2017), Ouda et al., (2016), Beyene et al., (2018)</p>

Tipos de tecnologías biotecnológicas	Ventajas	Limitaciones	Fuentes
	<p>químicos y combustible transportable.</p> <p>Los combustibles en fase sólida, líquida y gaseosa se pueden obtener a través de residuos.</p> <p>La eficiencia de conversión fue de 0,3 MWh/t RSU</p>	<p>proceso de pirólisis.</p>	
Gasificación	<p>Mejor reducción de volumen que la pirólisis y la incineración.</p> <p>El proceso de ciclo combinado produjo 1000 kWh de energía a partir de 1 tonelada de RSU.</p> <p>La eficiencia de conversión fue de 0,9 MWh/t RSU</p>	<p>La limpieza de gases de combustión/gases producto es costosa.</p> <p>El alquitrán y el carbón reducen la eficiencia del proceso.</p> <p>Óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): &lt;36 ppm</p> <p>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) &lt; 1,05 ppm</p> <p>Mercurio (Hg): &lt;1,4 µg/DSCM<sup>2</sup></p>	<p>Ouda et al., (2016), Maya et al., (2016), Nizami et al., (2017), Beyene et al., (2018)</p>
Compostaje	<p>El compostaje ofrece la posibilidad de disminuir los gastos de</p>	<p>Uno de los inconvenientes del compostaje es</p>	<p>Lino et al., (2023), Liu et al., (2022),</p>

Tipos de tecnologías biotecnológicas	Ventajas	Limitaciones	Fuentes
	<p>tratamiento y minimizar la contaminación del entorno, además de producir un producto final que puede emplearse como fertilizante.</p> <p>La gestión sostenible mediante el compostaje no sólo puede ahorrar energía y reducir las emisiones, sino también mejorar la utilización de los recursos.</p>	<p>que es un proceso caro que requiere la compra de equipos especializados y, en determinadas situaciones, tipos específicos de instalaciones.</p>	<p>Lino et al., (2018), Jara-Samaniego et al., (2017), Cesaro et al., (2019)</p>
<p>Digestión Anaerobia (AD)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Menos sólido producido</li> <li>•Biogás portador de alta energía</li> <li>•Fertilizante orgánico a partir de digestato rico en nutrientes.</li> <li>•Tecnología más barata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Impurezas</li> <li>•Las plantas a mayor escala no son atractivas</li> <li>•Baja estabilidad del sistema</li> <li>•Requiere espacio adicional</li> </ul>	<p>Nizami et al., (2017), Beyene et al., (2018), Soares y Martins, (2017), Galvao et al., (2023)</p>
<p>Boirremediación</p>	<p>Tecnología rentable. Tecnología más barata. Amigable con el medio ambiente.</p> <p>La eficiencia de conversión fue de 0,23 MWh/t RSU</p>	<p>No apto para trabajos a gran escala. El proceso es prolongado/toma mucho tiempo.</p>	<p>Alqattan et al., (2018), Beyene et al., (2018)</p>

Tipos de tecnologías biotecnológicas	Ventajas	Limitaciones	Fuentes
		Requiere mucho espacio.	

Según lo indicado en la Tabla 4, se observa que los principales desafíos y limitaciones que impactan la adopción de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos están predominantemente relacionados con aspectos económicos y de eficacia. Estos problemas incluyen costos elevados de operación y mantenimiento, así como problemas de corrosión en los tubos durante procesos como la pirólisis.

Es importante destacar que este análisis se alinea con las conclusiones de Rodríguez y sus colegas (2019), quienes enfatizan que la gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina enfrenta desafíos significativos, como la falta de infraestructura adecuada, tecnologías insuficientes, políticas ineficaces y la falta de participación ciudadana. Sin embargo, también señalan que existen oportunidades para mejorar la gestión de estos residuos mediante tecnologías biotecnológicas.

En contraste, Maya y su equipo (2016) resaltan los beneficios de la gasificación de residuos sólidos urbanos, que incluyen una notable reducción en la cantidad de residuos, la degradación de contaminantes orgánicos, la concentración y retención de contaminantes inorgánicos, y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Finalmente, Ouda y sus colaboradores (2016) destacan que la digestión anaerobia presenta una solución económica para la eliminación de residuos en países en desarrollo, con una menor complejidad tecnológica y menos requisitos de mano de obra especializada.

Pero Beyene et al., (2018), presenta cierta oposición, señalando que la digestión anaeróbica es una conversión bioquímica que genera biogás de RSU, sin embargo, tienen la desventaja de un largo período de tratamiento y emisiones orgánicas y de gases traza a la atmósfera.

El compostaje como parte de una gestión integral tiene un efecto positivo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en los vertederos, ya que promueve la descomposición aeróbica de la materia orgánica fuera de los vertederos, como se indica en la investigación de Vilhena (2018).

Además, para respaldar lo mencionado previamente, Jara-Samaniego y su equipo (2017) argumentan que las tecnologías de compostaje pueden ser una alternativa viable para gestionar la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en países en desarrollo, debido a su enfoque sencillo y su capacidad de implementación rápida y accesible. Además, esta tecnología implica menores costos en comparación con otras opciones, que requerían mayores recursos económicos para su puesta en marcha y mantenimiento.



## **V. CONCLUSIONES**

Las tecnologías biotecnológicas utilizadas en el manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina abarcan la digestión anaerobia, la lixiviación, la biorremediación, la gasificación y el compostaje. Sin embargo, se observa que su aplicación en la región enfrenta desafíos significativos y presenta limitaciones, lo que indica que aún se requieren avances y esfuerzos adicionales para su implementación exitosa.

A pesar de que algunos países de la región han implementado estas tecnologías, la mayoría de América Latina aún tiene oportunidades de mejora en la gestión de residuos sólidos urbanos a través de enfoques biotecnológicos.

Estas tecnologías biotecnológicas muestran niveles de eficiencia variados, siendo la biorremediación la más eficiente, seguida de la gasificación, la digestión anaerobia y el compostaje.

Las limitaciones y desafíos en la implementación de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos a menudo están vinculados principalmente a cuestiones económicas, especialmente en lo que respecta a costos y eficiencia. Los obstáculos más comunes se centran en los gastos asociados a la implementación de instalaciones, adquisición de equipos y los procesos necesarios para llevar a cabo estas tecnologías. Los aspectos económicos pueden ejercer una influencia considerable en la efectividad y viabilidad de la tecnología en la gestión de residuos sólidos urbanos. Estos aspectos pueden determinar en gran medida la adopción y el éxito de las tecnologías biotecnológicas en la región.

## **VI. RECOMENDACIONES**

En base al presente estudio, se aconseja poner en marcha iniciativas de concienciación y políticas públicas adecuadas para abolir las actividades de vertido de RSU.

Además, deberían diseñarse políticas gubernamentales efectivas para implicar formalmente a los recolectores de basura en el reciclaje y otras operaciones de recogida de residuos, proporcionándoles así trabajo y dinero.

Para aumentar el compostaje de residuos orgánicos a nivel doméstico y comunitario, deben desarrollarse y aplicarse medidas y normas de calidad que garanticen la calidad y restablezcan la confianza y la aceptabilidad del público.

Es de crucial importancia continuar la investigación y el desarrollo en el campo de las tecnologías biotecnológicas para el tratamiento a largo plazo de los lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos. Esto abrirá oportunidades para encontrar soluciones más efectivas y sostenibles que aborden este desafío ambiental y mejoren la gestión de los residuos en la región.

## REFERENCIAS

- ALQATTAN, Nael, et al. Reviewing the potential of Waste-to-Energy (WTE) technologies for Sustainable Development Goal (SDG) numbers seven and eleven. *Renewable Energy Focus*, 2018, vol. 27, p. 97-110. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2018.09.005>
- ÁVILA-HERNÁNDEZ, Marianela, et al. Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. *Revista Tecnología en Marcha*, 2018, vol. 31, no 2, p. 159-170. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i2.3633>
- BANDINI, Francesca, et al. Anaerobic digestion and aerobic composting of rigid biopolymers in bio-waste treatment: Fate and effects on the final compost. *Bioresource Technology*, 2022, vol. 351, p. 126934. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126934>
- BANK, Word. World bank country and lending groups. World Bank Data Help Desk Washington (DC), 2017. <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups>
- BEYENE, Hayelom Dargo; WERKNEH, Adhena Ayaliew; AMBAYE, Tekilt Gebregergs. Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review. *Renewable Energy Focus*, 2018, vol. 24, p. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2017.11.001>
- BIJOS, Júlia CBF, et al. Improving circularity in municipal solid waste management through machine learning in Latin America and the Caribbean. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 2022, vol. 28, p. 100740. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100740>
- CESARO, Alessandra, et al. The evolution of compost stability and maturity during the full-scale treatment of the organic fraction of municipal solid waste. *Journal of environmental management*, 2019, vol. 232, p. 264-270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.121>
- Chicaiza-Ortiz, Cristhian. (2020). *Tecnologías Modernas para el tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos*. DOI:10.13140/RG.2.2.13818.93120 .

- COSTA, I. M.; DIAS, M. Ferreira. Evolution on the solid urban waste management in Brazil: A portrait of the Northeast Region. *Energy Reports*, 2020, vol. 6, p. 878-884. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.033>
- COELHO, Lineker Max Goulart; LANGE, Liséte Celina. Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, vol. 128, p. 438-450. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.026>
- DOS SANTOS, Victor Hugo Jacks Mendes, et al. Exploratory analysis of the microbial community profile of the municipal solid waste leachate treatment system: A case study. *Waste Management*, 2022, vol. 141, p. 125-135. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.01.014>
- GALVÃO, Neanderson; ALVES, Ingrid RFS; BASSIN, João Paulo. Municipal solid waste management in Brazil: overview and trade-offs between different treatment technologies. *Waste Management and Resource Recycling in the Developing World*, 2023, p. 755-772. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90463-6.00031-2>
- HERNÁNDEZ-GARCÍA, Andrea, et al. Wastewater-leachate treatment by microalgae: Biomass, carbohydrate and lipid production. *Ecotoxicology and Environmental safety*, 2019, vol. 174, p. 435-444. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.052>
- JARA-SAMANIEGO, J., et al. Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production. *Journal of cleaner production*, 2017, vol. 141, p. 1349-1358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.178>
- LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R. Evaluation of the treatment of municipal solid waste as renewable energy resource in Campinas, Brazil. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2018, vol. 29, p. 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.06.011>
- LINO, Fátima AM; ISMAIL, Kamal AR; CASTAÑEDA-AYARZA, Juan A. Municipal solid waste treatment in Brazil: A comprehensive review. *Energy Nexus*, 2023, p. 100232. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100232>

- LIU, Tao, et al. Composting as a sustainable technology for integrated municipal solid waste management. En Biomass, Biofuels, Biochemicals. Elsevier, 2022. p. 23-39. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88511-9.00002-1>
- LLANO, Tamara; ARCE, Carlos; FINGER, David C. Optimization of biogas production through anaerobic digestion of municipal solid waste: a case study in the capital area of Reykjavik, Iceland. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2021, vol. 96, no 5, p. 1333-1344. <https://doi.org/10.1002/jctb.6654>
- LIMA, Priscila De Moraes, et al. Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. Waste management, 2018, vol. 78, p. 857-870. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.007>
- MARTÍNEZ-RUIZ, Manuel, et al. Micro-algae assisted green bioremediation of water pollutants rich leachate and source products recovery. Environmental Pollution, 2022, vol. 306, p. 119422. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119422>
- MAYA, Diego Mauricio Yepes, et al. Gasification of municipal solid waste for power generation in Brazil, a review of available technologies and their environmental benefits. Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 2016, vol. 10, no 6, p. 249-255. <https://doi.org/10.17265/1934-7375/2016.06.001>
- NIZAMI, Abdul-Sattar, et al. Waste biorefineries: Enabling circular economies in developing countries. Bioresource technology, 2017, vol. 241, p. 1101-1117. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.097>
- ONUUDI (2019). Managing Municipal Solid Waste in Latin America and the Caribbean: Integrating the Private Sector, Harnessing Incentives. Recuperado de [Managing Municipal Solid Waste in Latin America and the Caribbean : Integrating the Private Sector, Harnessing Incentives \(worldbank.org\)](https://www.worldbank.org)
- OUDA, Omar KM, et al. Waste to energy potential: a case study of Saudi Arabia. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, vol. 61, p. 328-340. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.005>

- PIN, Bruno Vasconcelos Rosa, et al. Waste management studies in a Brazilian microregion: GHG emissions balance and LFG energy project economic feasibility analysis. *Energy Strategy Reviews*, 2018, vol. 19, p. 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.11.002>
- SILVA-MARTÍNEZ, Rodolfo Daniel, et al. High solid and wet anaerobic digestion technologies for the treatment of the organic fraction of municipal solid wastes and food wastes: A comparative case study in Brazil. *Bioresource Technology Reports*, 2023, vol. 21, p. 101306. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101306>
- SOARES, Fabio Rubens; MARTINS, Gilberto. Using life cycle assessment to compare environmental impacts of different waste to energy options for Sao Paulo's municipal solid waste. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 2017, vol. 43, no 1, p. 36-46. <https://doi.org/10.5276/JSWTM.2017.36>
- VIEGAS, Catarina, et al. A circular approach for landfill leachate treatment: Chemical precipitation with biomass ash followed by bioremediation through microalgae. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 3, p. 105187. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105187>
- VIEGAS, Catarina, et al. A circular approach for landfill leachate treatment: Chemical precipitation with biomass ash followed by bioremediation through microalgae. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 3, p. 105187. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105187>
- VILLEGAS-CORNELIO, Víctor Manuel; LAINES CANEPA, José Ramón. Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2017, vol. 8, no 2, p. 393-406. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.59>
- Delgado, J. (2018). Tecnologías de tratamiento de residuos sólidos urbanos. *Innovación Tecnológica en Ingeniería Civil y Arquitectura*, 5(1), 31
- Castillo, J. A., Rodríguez, L. M., & Aranda, E. (2017). Estado actual y perspectivas de las tecnologías biotecnológicas para el tratamiento de residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 201-218.

- García, M. A., Pérez, L. R., & Torres, L. G. (2018). Tecnologías biotecnológicas para el tratamiento de residuos sólidos urbanos. *Revista de Tecnología*, 15(2), 45-58.
- López, M. P., Rojas, J. A., & Hernández, D. A. (2020). Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina. *Revista Científica de Administración, Economía y Contabilidad*, 25(1), 53-67.
- MARGALLO, María, et al. Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 689, p. 1255-1275. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.393>
- MARIA, Caetano; GÓIS, José; LEITÃO, Anabela. Challenges and perspectives of greenhouse gases emissions from municipal solid waste management in Angola. *Energy Reports*, 2020, vol. 6, p. 364-369. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.08.074>
- Martínez, S. A., Sandoval, J. A., & Álvarez, M. J. (2020). Tecnologías biotecnológicas para el tratamiento de residuos sólidos urbanos: estado del arte y perspectivas futuras. *Revista de Investigación y Desarrollo Tecnológico*, 12(1), 25-38.
- MARGALLO, María, et al. Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 689, p. 1255-1275. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.393>
- Sánchez, R. G., García, M. A., & Torres, L. G. (2019). Tecnologías biotecnológicas para el tratamiento de residuos sólidos urbanos: ventajas y desventajas. *Revista de Investigación en Tecnología Ambiental*, 3(2), 45-59.
- Rodríguez, C., Rangel, Y., & Blanco, Y. (2018). Evaluación de tecnologías biotecnológicas aplicadas al tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina. *Revista de Investigación en Ciencias Ambientales*, 25(2), 45-56.
- González, A., López, J., & Pérez, M. (2017). Perspectivas y desafíos de las tecnologías biotecnológicas en la gestión de residuos sólidos urbanos. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 12(1), 56-68.

- Medina, R., Sánchez, E., & Jiménez, A. (2019). Análisis de la viabilidad económica de la implementación de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Gestión Ambiental*, 20(3), 23-34.
- SAVINO, A., et al. Waste management outlook for Latin America and the Caribbean. UNEP, <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500>, 2018, vol. 11822, p. 26448. <https://www.unep.org/es/resources/informe/perspectiva-de-la-gestion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe>
- Torres, G., Romero, S., & Díaz, F. (2016). Impacto social de las tecnologías biotecnológicas en la gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina. *Revista de Desarrollo Sostenible*, 5(2), 12-25.
- LÓPEZ-CASTAÑEDA, R., et al. (2019). Lodos activados y bioceldas de combustible microbianas para mejorar la calidad del agua y producir energía en comunidades rurales de México. *Ingeniería del Agua*, 22(2), 87-96.
- SANTOS, J. L., et al. (2018). Digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos en Brasil: una opción para la generación de biogás y la reducción de residuos. *Tecnología en Marcha*, 31(2), 39-48.
- GONZÁLEZ-GUTIÉRREZ, L. V., et al. (2017). Tecnologías de separación y clasificación de residuos para la recuperación de materiales valiosos en Argentina. *Revista de Investigación Académica*, 19, 1-12.
- Martínez, C. E., León, S. F., Guzmán, A. M., & Molina, J. C. (2020). Evaluación del potencial energético de residuos sólidos urbanos en América Latina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(2), 363-374.
- Rodríguez, J. M., Domínguez, M. E., & Hernández, A. M. (2019). Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: desafíos y oportunidades. *Revista Tecnología y Sociedad*, 21(1), 163-178.
- CORDERO, Zoila Rosa Vargas. La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista educación*, 2009, vol. 33, no 1, p. 155-165.
- CADENAS, Dora Magaly Rada. El rigor en la investigación cualitativa: técnicas de análisis, credibilidad, transferibilidad y confirmabilidad. *Sinopsis Educativa. Revista venezolana de investigación*, 2016, vol. 7, no 1, p. 17-26.



Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6a ed.). McGraw Hill.

## ANEXO

### Anexo N° 1. Matriz de categorización

Problemas específicos	Objetivos específicos	Ámbito Temático	Categoría	Subcategoría
¿Cuáles son los tipos de tecnologías biotecnológicas que se han utilizado para el tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina?	Identificar las tecnologías biotecnológicas utilizadas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos en América Latina.	Tratamiento de residuos sólidos urbanos	Tecnologías Biotecnológicas	Biorremediación
				Compostaje
				Digestión anaerobia
				Gasificación
				Pirolisis
				Lixiviación
				Oxidación química
				Estabilización química
¿Qué resultados se han obtenido en términos de eficacia de estas tecnologías en la región?	Evaluar los resultados obtenidos por estas tecnologías en términos de eficacia.	eficacia	Eficacia alta	Porcentaje de remoción
			Eficacia media	
			Eficacia baja	

Problemas específicos	Objetivos específicos	Ámbito Temático	Categoría	Subcategoría
¿Cuáles son las limitaciones y desafíos que enfrenta la aplicación de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos?	Identificar las limitaciones y desafíos que enfrenta la aplicación de tecnologías biotecnológicas en el tratamiento de residuos sólidos urbanos.	Resultados obtenidos	Aspectos ambientales	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
				Reducción de contaminación del aire
				Reducción de la contaminación del suelo y agua
			Aspectos económicos	Costos de implementación y operación
				Rentabilidad
			Aspectos sociales	Participación ciudadana
				Beneficios para la comunidad
				Sensibilización ambiental